不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪生产性能、养分利用、血液学指标和血清氧化应激指标的影响

孙　静[1]　杨在宾[1]　杨　晨[1]　吴晓静[1]　李思梦[1]　杨维仁[1]　薛　峰[1]　李会荣[2]　李祥明[2*]　姜淑贞[1*]

（1.山东农业大学动物科技学院，山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室，泰安 271018；2.山东省饲料质量检验所，济南 250022）

摘　要：本试验旨在研究不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪生产性能、养分利用、血液学指标和血清氧化应激指标的影响。选取胎次、体重[（33.16±3.49） kg]相近的生长猪（杜×长×大）32 头，随机分为 4 组，每组 8 个重复。对照组饲喂基础饲粮，营养水平参照 NY/T 65-2004 中瘦肉型猪饲养标准供给，试验组分别饲喂含 20%、30%和 40%全株玉米青贮的试验饲粮，上述 4 种饲粮养分含量（干物质基础）差异不显著（P>0.05），粗纤维含量依次为 3.0%、3.5%、4.0%和 4.5%。试验猪单独饲养于代谢笼中，预试期 7 d，正试期 42 d。结果显示：随着饲粮中全株玉米青贮比例的增加，生长猪的末重、平均日增重、养分（干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪和总能）表观消化率、蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率、总能代谢率、血红蛋白浓度和血清铜蓝蛋白含量呈线性降低（P<0.05），而饲喂基础平均日采食量、干物质基础平均日采食量、平均日粗纤维采食量、饲喂基础料重比和干物质基础料重比则呈线性升高（P<0.05）。与对照组相比，20%和 30%全株玉米青贮组生长猪的平均日增重、干物质基础平均日采食量、干物质基础料重比、蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率、血液学指标和血清氧化应激指标均差异不显著（P>0.05），但 40%全株玉米青贮组的末重、平均日增重、养分表观消化率、血液血红蛋白浓度和血清铜蓝蛋白含量均显著降低（P<0.05）。由此得出，全株玉米青贮可用于生长猪低营养水平饲粮的配制，使用比例为 20%~30%时能保障生产性能，并可改

收稿日期：2017-10-26

基金项目：山东省现代农业产业技术体系生猪创新团队建设项目（SDAIT-08-04）；山东省重点研发计划项目《玉米青饲生产优质猪肉和粪污还田精准化关键技术研究与集成》（2016GNC111018）；山东省农业重大应用技术创新项目《全株青绿玉米生产优质猪肉技术研究》（201636）；“双一流”奖补资金资助项目

作者简介：孙　静（1992-），女，山东乳山人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: jingjings1208@163.com

*通信作者：李祥明，研究员，E-mail: lisdsjs@163.com；姜淑贞，副教授，硕士生导师，E-mail: shuzhen305@163.com

善健康状况。

关键词：玉米全株青贮；粗纤维；生长猪；生产性能；养分消化代谢；血液学指标；血清氧化应激指标

中图分类号：S816　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　　文章编号：

饲喂一定比例的粗饲料是保障微生物消化功能的基础。猪饲喂青绿多汁饲料可以改善适口性和养分利用率，而青绿多汁饲料和高纤维饲料原料的缺乏使我国养猪业难于实施低营养水平饲粮。粮食玉米收获后的秸秆中虽然含有丰富的粗纤维，但是粗纤维结构非常紧密，难以被单胃动物消化。研究发现，将乳熟期的玉米秸秆全株发酵后粗纤维含量降低，养分利用率升高[1]。饲粮纤维是由多糖类的碳水化合物和多种非碳水化合物组成的复杂化合物，饲粮中的纤维成分一般不能被动物自身分泌的消化酶所消化，但是可以被肠道内的微生物利用，产生挥发性脂肪酸[2]。猪作为一种典型的单胃杂食动物，具有发达的结肠和盲肠，其中大量的微生物能够利用饲粮中的纤维[3]。研究证实，青绿多汁饲料和适量的优质纤维能够提高猪的生产性能、增强健康、维持胃肠道的微生态平衡等[4]，调节猪肠道的营养吸收、增强免疫功能[5-6]。而吕知谦等[7]证实高纤维水平饲粮对生长猪的能量和营养物质的利用有负面影响，会增加粪氮的排出，影响氮的代谢。随着纤维水平的升高，饲粮的能量浓度降低，机体为了满足生长发育的需要就会扩大养分的吸收面积，从而使动物的消化器官增重[8]。国内外有关饲粮纤维水平对猪影响的研究多集中在生产性能和胴体性能方面，饲粮纤维的来源多是甜菜渣、酒糟和麸皮等加工副产品。在国家“粮改饲”政策的大背景下，玉米全株能否利用其多汁和高纤维特性改善生长猪的生产性能和健康状况尚未见报道。鉴于此，本试验拟研究不同比例发酵青贮全株玉米饲粮对生长猪生产性能、养分利用、血液学指标和血清氧化应激指标的影响，以期为国家“粮改饲”政策的实施提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　发酵菌种

全株玉米青贮发酵用复合菌由北京科为博生物科技有限公司提供，其中乳酸菌（*Lactobacillus*）活菌数为 5.0×10^9 CFU/g，酵母菌（yeast）活菌数为 4.6×10^9 CFU/g，枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）活菌数为 1.9×10^{10} CFU/g。

1.1.2　全株玉米青贮的制作

玉米乳熟期收割，留茬 30 cm 左右，铡碎至 0.5~1.0 cm，添加复合菌 0.8 kg/t 混合均匀，快速装入容量 1 000 kg 的塑料内衬尼绒包，压实、厌氧，贮存 4 周以上，pH 稳定在 3.8~4.0，青贮保鲜备用。全株玉米青贮在鲜样基础上的消化能为 1.83 MJ/kg，粗蛋白质含量为 2.27%，粗纤维含量为 3.33%，赖氨酸含量为 0.04%，蛋氨酸含量为 0.02%，苏氨酸含量为 0.04%，色氨酸含量为 0.01%，钙含量为 0.01%，磷含量为 0.03%，干物质含量为 22.20%；在干物质基础上的消化能为 6.54 MJ/kg，粗蛋白质含量为 8.12%，粗纤维含量为 11.88%，赖氨酸含量为 0.13%，蛋氨酸含量为 0.08%，苏氨酸含量为 0.15%，色氨酸含量为 0.02%，钙含量为 0.02%，磷含量为 0.11%。

1.2　试验设计与饲养管理

采用单因子试验设计，选取胎次、体重[（33.16±3.49） kg]相近的生长猪（杜×长×大）32 头，随机分为 4 组，每组 8 个重复，每个重复 1 头。对照组饲喂不含发酵青贮全株玉米的基础饲粮，不使用，营养水平参照 NY/T 65-2004 中瘦肉型猪饲养标准设定，粗纤维含量在干物质基础上为 3.0%；试验组分别饲喂含 20%、30%和 40%全株玉米青贮的试验饲粮，其营养水平在干物质基础上分别约为对照组的 98%、96%和 94%，粗纤维含量在干物质基础上分别为 3.5%、4.0%和 4.5%。饲粮组成及营养水平见表 1。试验猪单笼（100 cm×200 cm）饲养，安装有料槽和自动饮水器，自由采食、饮水。饲粮一次性配齐，全株玉米青贮与精饲料混合，编织袋密封保存，以湿拌料形式饲喂。预试期 7 d，正试期 42 d，每天记录采食量，试验开始和结束称取体重。试验期间观察猪的行为，记录健康状况和腹泻情况。

表 1　饲粮组成及营养水平

Table 1　Composition and nutrient levels of diets　%

项目 Items	全株玉米青贮比例 Whole corn silage proportion/%			
	0	20	30	40
原料 Ingredients				
全株玉米青贮 Whole corn silage		20.00	30.00	40.00
玉米 Corn	70.24	56.10	49.23	42.37
豆粕 Soybean meal	17.50	14.00	12.00	10.10
麸皮 Bran	5.50	4.40	4.00	3.50
大豆油 Soybean oil	3.00	2.40	2.00	1.60
赖氨酸 Lysine	0.31	0.27	0.25	0.23
蛋氨酸 Methionine	0.05	0.04	0.04	0.04
苏氨酸 Threonine	0.10	0.09	0.09	0.09
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00	0.82	0.71	0.63
石粉 Limestone	1.00	0.84	0.77	0.66

食盐 NaCl	0.30	0.24	0.21	0.18
预混料 Premix[1)]	1.00	0.80	0.70	0.60
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平（干物质基础） Nutrient levels （DM basis）				
消化能 DE/(MJ/kg)	13.95±1.10	13.63±0.99	13.39±1.21	13.11±1.17
粗蛋白质 CP	16.17±1.16	16.33±1.24	16.00±0.97	15.63±1.15
粗纤维 CF	3.06±0.21	3.50±0.29	3.98±0.35	4.53±0.51
钙 Ca	0.77±0.06	0.75±0.08	0.74±0.06	0.72±0.07
磷 P	0.37±0.03	0.36±0.03	0.35±0.04	0.35±0.04
氯化钠 NaCl	0.42±0.02	0.41±0.01	0.40±0.03	0.39±0.02
赖氨酸 Lys	1.010	0.990	0.970	0.950
蛋氨酸 Met	0.300	0.294	0.288	0.282
苏氨酸 Thr	0.680	0.665	0.655	0.640
干物质 DM	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平（发酵青贮全株玉米为鲜样基础，其他原料为风干基础） Nutrition levels （whole corn silage was at fresh sample basis, and other raw materials were at air-dry basis）[2)]				
消化能 DE/(MJ/kg)	11.90±1.01	9.90±0.92	8.90±0.61	7.90±0.65
粗蛋白质 CP	14.24±1.10	11.86±1.01	10.59±0.98	9.36±0.85
粗纤维 CF	2.61±0.15	2.60±0.26	2.60±0.31	2.71±0.29
钙 Ca	0.66±0.04	0.54±0.04	0.49±0.03	0.43±0.02
磷 P	0.32±0.02	0.26±0.03	0.23±0.01	0.21±0.02
氯化钠 NaCl	0.36±0.02	0.30±0.01	0.26±0.03	0.23±0.02
赖氨酸 Lys	0.86	0.72	0.64	0.57
蛋氨酸 Met	0.26	0.21	0.19	0.17
苏氨酸 Thr	0.58	0.48	0.43	0.38
干物质 DM	85.20	72.60	66.20	59.90

[1)]预混料为每千克饲粮干物质提供 The premix provided the following per kg DM of diets:VA 5 300 IU，VD_3 1 330 IU，VE 24 IU，VK_3 1.75 mg，VB_1 1.50 mg，VB_2 5.25 mg，VB_6 2.25 mg，VB_{12} 0.026 mg，泛酸 pantothenic acid 15.00 mg，尼克酸 niacin 22.5 mg，生物素 biotin 0.075 mg，叶酸 folic acid 0.45 mg，Mn (as manganese sulfate) 6.00 mg，Fe (as ferrous sulfate) 90 mg，Zn (as zinc sulfate) 90 mg，Cu (as copper sulfate) 9.00 mg，I (as potassium iodide) 0.21 mg，Se (as sodium selenite) 0.45 mg。

[2)]消化能、粗蛋白质、粗纤维、钙和磷为实测值，其他营养水平为计算值。DE, CP, CF, Ca and P were analyzed values，while the other nutrient levels were calculated values.

1.3 测定指标

1.3.1 生产性能指标测定

根据记录的采食量和体重计算平均日增重（ADG）、饲喂基础平均日采食量（FB-ADFI）、干物质基础平均日采食量（DM-ADFI）、平均日粗纤维采食量（ADCFI）、饲喂基础料重比（FB-F/G）和干物质基础料重比（DM-F/G）。

1.3.2 消化代谢试验及指标测定

正试期的第21~27天，所有试验动物均采用全收粪尿法进行消化代谢试验。每天准确记录采食量，

收集全部粪、尿，计量后4 ℃保存。消化代谢试验结束，将连续7 d的粪、尿各自混合均匀，按照粪、尿总量取1/5的样品加酸（100 g鲜粪或者100 mL尿液加10%的硫酸10 mL）固定氮，用于测定鲜样基础上的粗蛋白质含量；另取2/5的尿样用于测定尿中总能，另取2/5的鲜粪样，65 ℃烘干制备风干样本，用于测定干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、钙和磷含量及总能（GE）。

饲粮、粪便中干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、钙和磷含量的测定按AOAC（2012）[9]中方法进行，其中干物质含量的测定采用105 ℃烘干恒重法，有机质含量的测定采用550 ℃灼烧灰分法，粗蛋白质含量的测定采用凯氏半微量定氮法，粗脂肪含量的测定采用索氏提取法，粗纤维含量的测定采用酸碱消煮法，钙含量的测定采用高锰酸钾滴定法，磷含量的测定采用比色法。饲粮、粪便、尿液中总能采用氧弹式热量计测定。

养分消化利用指标参照文献[10]的计算方法计算，具体公式如下：

消化能食入量（MJ/d）=总能食入量（MJ/d）－粪能（MJ/d）；

总能表观消化率（%）=100×消化能食入量/总能食入量；

某营养物质（干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪）表观消化率(%)=100×（食入该营养物质量－粪中该营养物质量/食入该营养物质量）；

可消化氮（g/d）=食入氮－粪氮；

蛋白质生物学价值（BV of protein）=100×（食入氮－粪氮－尿氮）/可消化氮；

净蛋白质利用率（NPU）=（粗蛋白质食入量－粪粗蛋白质排出量－尿粪粗蛋白质排出量）/粗蛋白质食入量×100；

总能代谢率（%）=（消化能食入量-尿能）/总能食入量×100。

1.3.3 血样采集及指标测定

正试期第 42 天，每个重复的各头猪进行前腔静脉空腹采血（约 30 mL），10 mL 左右全血用于血液学指标的测定，另 20 mL 于 3 000 r/min 下离心 10 min 分离血清，用于血清氧化应激指标的测定。

血液学指标：采用 KX-21 型血细胞分析仪测定血液学指标，包括白细胞计数(WBC)、红细胞计数(RBC)、血小板计数(PLT)、中性粒细胞比例(NEUT%)、淋巴细胞比例(LY%)、血红蛋白浓度(HB)、红细胞压积(HCT)、平均红细胞体积（MCV）、平均红细胞血红蛋白含量（MCH）以及平均红细胞血红蛋白浓度（MCHC）。

血清氧化应激指标：总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性和铜锌超氧化物歧化酶（CuZn-SOD）活性均采用黄嘌呤氧化酶法（羟胺法）测定，谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性及丙二醛（MDA）

和铜蓝蛋白（CER）含量均采用比色法测定。上述指标测定所用试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.4 数据统计

试验数据使用 SAS 8.2 软件进行统计，并采用单因素方差分析（one-way ANOVA）进行显著性分析，采用 Duncan 氏法进行组间多重比较，数据表示形式为平均值±标准差，显著性水平为 P<0.05；采用正交多项式比较法对不同粗纤维水平的处理效应进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 生产性能指标比较

在整个试验期间，生长猪的健康状况良好，没有出现腹泻和死亡的现象。生产性能结果（表 2）表明，随饲粮中全株玉米青贮比例的增加，生长猪的末重和平均日增重呈线性降低（P<0.05），饲喂基础平均日采食量、干物质基础平均日采食量、平均日粗纤维采食量、饲喂基础料重比和干物质基础料重比呈线性升高（P<0.05）。与对照组相比，20%和 30%全株玉米青贮组的末重、平均日增重和干物质基础料重比差异不显著（P>0.05），而 40%全株玉米青贮组的末重和平均日增重显著降低（P<0.05），干物质基础料重比显著升高（P<0.05）。20%、30%和 40%全株玉米青贮组的饲喂基础平均日采食量、干物质基础平均日采食量、平均日粗纤维采食量和饲喂基础料重比显著高于对照组（P<0.05）。

表 2 不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪生产性能的影响

Table 2 Effects of diets with different proportions of whole plant corn silage on performance of growing pigs

项目 Items	全株玉米青贮比例 Whole corn silage proportion/%				*P*-值 *P*-value	
	0	20	30	40	组间 Groups	线性 Linear
始重 IBW/kg	34.04±4.02	33.73±2.88	32.36±3.04	32.53±4.22	0.726	0.293
末重 FBW/kg	63.09 ± 2.98^{a}	62.25 ± 4.06^{a}	62.64 ± 3.73^{a}	56.17 ± 3.55^{b}	0.002	0.002
平均日增重 ADG/kg	0.69 ± 0.04^{a}	0.68 ± 0.06^{a}	0.72 ± 0.06^{a}	0.56 ± 0.08^{b}	<0.001	0.007
饲喂基础平均日采食量 FB-ADFI/(kg/d)	1.84 ± 0.06^{d}	2.27 ± 0.12^{c}	2.57 ± 0.08^{b}	2.77 ± 0.23^{a}	<0.001	<0.001
干物质基础平均日采食量 DM-ADFI/(kg/d)	1.57 ± 0.04^{b}	1.65 ± 0.07^{a}	1.70 ± 0.04^{a}	1.66 ± 0.08^{a}	0.002	0.004
平均日粗纤维采食量 ADCFI/(kg/d)	48.07 ± 1.28^{d}	57.76 ± 2.36^{c}	67.63 ± 1.41^{b}	75.34 ± 3.83^{a}	<0.001	<0.001
饲喂基础料重比 FB-F/G	2.67 ± 0.13^{c}	3.34 ± 0.31^{b}	3.57 ± 0.32^{b}	4.95 ± 0.47^{a}	<0.001	<0.001

干物质基础料重比 DM-F/G	2.28±0.11[b]	2.43±0.24[b]	2.36±0.22[b]	2.96±0.30[a]	<0.001	<0.001

同行数据肩标不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 养分消化代谢指标比较

由表 3 可知，生长猪的干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪和总能的表观消化率，蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率和总能代谢率均随饲粮中全株玉米青贮比例的增加呈线性降低（$P<0.05$）。与对照组相比，20%、30%和 40%全株玉米青贮组干物质、有机质、粗蛋白质、粗脂肪和总能的表观消化率以及总能代谢率均显著降低（$P<0.05$），40%全株玉米青贮组的蛋白质生物学价值和净蛋白质利用率显著降低（$P<0.05$），说明饲粮中含 20%~30%的全株玉米青贮没有影响蛋白质的利用率。

表 3　不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪养分消化利用的影响

Table 3　Effects of diets with different proportions of whole plant corn silage on nutrient digestion and metabolism of growing pigs

%

项目 Items	全株玉米青贮比例 Whole corn silage proportion/%				*P*-值 *P*-value	
	0	20	30	40	组间 Groups	线性 Linear
干物质表观消化率 DM apparent digestibility	88.45±1.15[a]	87.22±1.22[ab]	86.37±2.02[b]	86.33±1.46[b]	0.029	0.005
有机质表观消化率 OM apparent digestibility	89.97±0.97[a]	88.54±1.06[b]	87.75±1.86[b]	87.78±1.37[b]	0.009	0.002
粗蛋白质表观消化率 CP apparent digestibility	84.11±1.00[a]	81.63±2.10[b]	81.35±2.42[b]	76.02±1.81[c]	<0.001	<0.001
粗脂肪表观消化率 EE apparent digestibility	88.28±1.14[a]	86.61±1.14[b]	86.68±1.34[b]	86.29±1.07[b]	0.010	0.004
总能表观消化率 GE apparent digestibility	89.72±1.13[a]	88.06±1.54[b]	87.13±1.86[b]	86.75±1.66[b]	0.004	<0.001
净蛋白质利用率 NPU	55.49±3.04[a]	53.09±2.92[a]	53.60±4.13[a]	45.68±2.54[b]	<0.001	0.002
蛋白质的生物学价值 BV of protein	68.10±3.74[a]	65.99±4.10[a]	70.21±4.30[a]	56.95±4.50[b]	<0.001	0.003
总能代谢率 GE metabolizable rate	84.43±1.39[a]	82.92±1.10[b]	82.68±1.09[b]	82.37±0.87[b]	0.004	0.001

2.3 血液学指标比较

由表 4 可知，血液学指标中的血红蛋白浓度随饲粮中全株玉米青贮比例的增加呈线性降低

（P<0.05）；此外，与对照组相比，40%全株玉米青贮组的血红蛋白浓度显著降低（P<0.05），其他组间均差异不显著（P>0.05）。

表 4　不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪血液学指标的影响

Table 4　Effects of diets with different proportions of whole plant corn silage on hematological indexes of growing pigs

项目 Items	全株玉米青贮比例 Whole corn silage proportion/%				P-值 P-value	
	0	20	30	40	组间 Groups	线性 Linear
白细胞计数 WBC/(×10^9/L)	7.28±0.70	7.41±0.83	7.04±1.50	7.04±0.86	0.905	0.559
淋巴细胞百分比 LY%/%	6.35±1.13	6.84±1.01	6.29±0.52	6.28±0.48	0.610	0.624
中性粒细胞百分比 NEUT%/%	13.11±0.69	14.37±3.32	12.67±3.02	14.18±0.81	0.528	0.726
红细胞计数 RBC/(×10^{12}/L)	10.30±0.56	9.13±0.54	9.34±0.50	9.68±1.22	0.075	0.300
血红蛋白浓度 HB/(g/L)	190.50±0.55^{a}	191.50±1.87^{a}	191.17±1.33^{a}	182.00±1.79^{b}	<0.001	0.002
血小板计数 PLT/(×10^9/L)	165.51±2.03	171.79±2.86	170.51±13.53	164.74±3.75	0.264	0.798
红细胞压积 HCT/%	42.50±2.48	40.24±1.73	41.70±2.31	40.89±1.30	0.263	0.381
平均红细胞体积 MCV/fL	66.37±2.47	67.05±1.95	66.20±1.62	66.42±1.90	0.891	0.845
平均红细胞血红蛋白含量 MCH/pg	20.33±0.99	20.08±0.34	20.30±0.73	19.75±0.96	0.577	0.293
平均红细胞血红蛋白浓度 MCHC/(g/L)	305.33±9.87	310.60±7.71	297.00±4.69	301.33±14.67	0.140	0.190

2.4　血清氧化应激指标比较

由表 5 可知，随着饲粮中全株玉米青贮比例的增加，血清铜蓝蛋白含量呈线性降低（P<0.05），而血清总超氧化物歧化酶活性呈线性升高（P<0.05）。40%全株玉米青贮组血清铜蓝蛋白含量较对照组显著降低（P<0.05），但对照组及 20%和 30%全株玉米青贮组之间差异不显著（P>0.05）。

表 5　不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪血清氧化应激指标的影响

Table 5　Effects of diets with different proportions of whole plant corn silage on serum oxidative stress indexes of growing pigs

项目 Items	全株玉米青贮比例 Whole corn silage proportion/%				P-值 P-value	
	0	20	30	40	组间 Groups	线性 Linear
铜蓝蛋白 CER/(U/L)	155.43±2.56^{a}	154.35±4.32^{a}	154.23±5.55^{a}	144.50±7.71^{b}	0.045	0.020
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μmol/L)	2379.27±63.52	2423.17±21.95	2426.83±36.83	2371.95±60.32	0.294	0.878
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	80.24±1.85	81.57±3.15	83.68±1.60	83.32±1.92	0.154	0.032
铜锌超氧化物歧化酶 Cu-Zn SOD/(U/mL)	72.30±4.54	70.23±1.75	74.95±1.03	71.63±5.81	0.397	0.765
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.81±0.42	5.17±0.87	5.04±0.76	5.09±0.22	0.866	0.606

3 讨 论

3.1 不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪生产性能的影响

研究显示，给猪饲喂青绿多汁饲料可以改善适口性和养分利用率[11]。饲粮一定比例的粗饲料是保障微生物消化功能的基础，饲粮粗纤维含量在5%~7%不会影响生长育肥猪的生产性能和生长速度[12]。当饲粮的能量浓度得到满足时，猪能够耐受较高水平的粗纤维[13]。饲粮纤维能够刺激胃肠道的发育，维持胃肠道的正常蠕动，加快食糜在消化道的流通速度，是猪饲粮中不可缺少的组成部分[14]。有研究表明，在一定的范围内，随着饲粮粗纤维含量的增加，饲粮的消化能浓度降低，猪为了维持消化能的需要，通常通过自身的生理调控机制增加对饲粮的采食量[15-16]。本试验中，20%、30%和40%全株玉米青贮组饲喂基础平均日采食量分别比对照组提高了23%、39%和49%，干物质基础平均日采食量分别提高了5%、8%和5%。因此，尽管20%、30%和40%的全株玉米青贮等比例代替基础饲粮后其营养水平在干物质基础上分别为对照组的98%、96%和94%，但生长猪能够通过调节采食量来满足对能量和其他养分的需求。本试验中，生长猪的末重和平均日增重在对照组以及20%和30%全株玉米青贮组之间差异不显著。玉米在乳熟期收获，具备青绿多汁特性，虽然玉米秸秆含有较多的纤维，但干物质基础上饲粮粗纤维含量小于4%，风干基础上饲粮粗纤维含量也在5%以下，不会影响养分的消化性，同时，新鲜玉米的高水分导致的鲜样基础上的低饲粮营养水平完全可以通过提高采食量来满足猪的需要量，因此，30~60 kg生长猪饲喂含20%~30%全株玉米青贮的饲粮可以保证正常生产性能。然而，当饲粮中粗纤维含量提高到4.5%（即饲粮含40%全株玉米青贮）时，生长猪的平均日增重和干物质基础平均日采食量均有不同程度降低，这可能是由于猪消化道适应性增加的容积不能容纳大体积高纤维饲粮，进而导致猪的日增重下降[17]。

3.2 不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪养分消化代谢的影响

饲粮中粗纤维含量的增加会降低干物质、粗蛋白质和粗脂肪的消化率，从而降低能量的消化率。本试验结果表明，随着饲粮中全株玉米青贮比例的增加，生长猪的养分表观消化率、蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率和总能代谢率均呈线性下降。相关的研究也证实了增加饲粮的粗纤维含量会降低饲粮中其他养分的消化率和消化能的摄入量[18]。这可能是由于消化道内缺乏纤维分解酶，纤维物质包裹的养分不能被消化酶分解，且可溶性饲粮纤维增加食糜的黏性，影响消化酶与底物的结合，从而影响干物质、粗蛋白质和粗脂肪等养分的消化[19-20]。同时，饲粮粗纤维含量增加会使肠道副交感神经兴奋性增加，使肠道的蠕动速度加快，加快食糜流通速率，减少食糜与消化酶的接触时间，从而降低养分的消化率[21-22]。Wilfart等[23]研究发现，高纤维含量的麸皮饲粮可以降低食糜中固体部

分在小肠的停留时间。另有研究发现，饲粮中的中性洗涤纤维的含量每增加 1%，饲粮中总能的消化率就会相应的降低 1%[24]。但在本试验中，20%和 30%全株玉米青贮组的养分表观消化率、蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率和总能代谢率差异不显著，且 20%和 30%全株玉米青贮组的蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率与对照组差异不显著，说明 20%~30%的全株玉米青贮并没有影响蛋白质代谢，而全株玉米青贮影响能量代谢的分子机制尚需进一步证实。

3.3 不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪血液学指标的影响

血液中参与机体免疫的成分主要有中性粒细胞和淋巴细胞[25]。血液中的白细胞总数的多少提示动物的易感性和侵入微生物的毒力等。红细胞计数、血红蛋白浓度、红细胞压积、平均红细胞体积、平均红细胞血红蛋白含量和平均红细胞血红蛋白浓度可用于贫血的诊断[26]。目前尚未见全株玉米青贮对生长猪血液学指标的研究，本研究发现，随着饲粮中全株玉米青贮比例的增加，生长猪的血红蛋白浓度逐渐下降，这可能是由于随着全株玉米青贮比例的升高，生长猪铁的生物学利用率下降，或者是全株玉米青贮影响某些养分的吸收，导致血红蛋白的合成下降，但其分子机制尚需进一步证实。

3.4 不同比例全株玉米青贮饲粮对生长猪血清氧化应激指标的影响

动物处于应激状态时，机体内的抗氧化酶活性会逐渐下降，从而降低消除体内氧化代谢产物的能力，打破机体内自由基产生和清除的动态平衡，导致自由基逐渐的积累并产生氧化损伤，血清中丙二醛含量是测定脂质过氧化程度的最常用指标[27]。血清中的超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶能强力清除活性氧和自由基[28]，在正常范围内其值越高表明机体的抗氧化功能越强[29]。有研究表明，苜蓿草粉中的维生素 C、维生素 D 和胡萝卜素等活性物质对动物机体的抗氧化能力有一定的促进作用，且苜蓿叶中的蛋白质可以提高小鼠血清中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性[30]。本试验中，随着饲粮中全株玉米比例的增加，生长猪血清中总超氧化物歧化酶活性线性升高，这可能是由于全株玉米青贮饲粮中含有丰富的维生素和胡萝卜素，增强了生长猪的抗氧化能力。本试验中，生长猪血清铜蓝蛋白含量随饲粮中全株玉米青贮比例的增加呈线性降低。研究表明，在正常的铜需要量得以满足之后，血清铜蓝蛋白含量受饲粮铜含量的影响较小，血清铜蓝蛋白含量可能是由铁代谢来调控的，当铁缺乏时可以刺激铜蓝蛋白的合成增加，从而促进铁的转运和进入细胞内铁的稳态[31-32]，但是全株玉米青贮调控血清抗氧化酶活性的分子机制有待进一步证实。

4 结　论

① 与对照组相比，饲粮含 20%和 30%的全株玉米青贮不影响生长猪的生产性能，饲粮含 40%全株

玉米青贮降低了生长猪的生产性能。

② 饲粮含 20%和 30%的全株玉米青贮不会影响生长猪的蛋白质代谢，也未对血液学指标和血清氧化应激指标产生显著影响。

③ 30~60 kg 阶段生长猪饲喂含 20%~30%全株玉米青贮的饲粮是可行。

参考文献：

[1] 盛清凯,李祥明,战余铭,等.猪用全株青绿玉米发酵前后营养成分的变化[J].饲料研究,2016(15):48–51.

[2] SLAVIN J.Fiber and prebiotics:mechanisms and health benefits[J].Nutrients,2013,5(4):1417–1435.

[3] 陈金龙,闫景彩.日粮纤维在猪生产中的应用与研究[J].饲料与畜牧,2008(6):50–53.

[4] 李美荃,信爱国,张春勇,等.饲粮纤维水平对高黎贡山仔猪与杜洛克仔猪生产性能、小肠形态学、小肠黏膜金属硫蛋白 1 及组织急性期蛋白基因表达影响的比较研究[J].动物营养学报,2015,27(6):1759–1768.

[5] DE LANG C F M,PLUSKE J,GONG J,et al.Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs[J].Livestock Science,2010,134(1/2/3):124–134.

[6] KNUDSN K E B,HEDEMANN M S,LAERKE H N.The role of carbohydrates in intestinal health of pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2012,173(1/2):41–53.

[7] 吕知谦,黄冰冰,李藏兰,等.日粮纤维组成对生长猪净能和营养物质消化率的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(2):65–69.

[8] JHA R,BERROCOSO J D.Review:dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine[J].Animal,2015,9(9):1441–1452.

[9] AOAC.Official methods of analysis of the AOAC[S].Rockville,MD:AOAC Int.,2012.

[10] 杨凤.动物营养学(第二版)[M].北京:中国农业大学出版社,2000.

[11] 王作祥.解决青绿多汁饲料的有效办法介绍复种豆青、移栽甜菜、套种胡萝卜[J].甘肃畜牧兽医,1980(3):42-45,41.

[12] 胡薇.三种玉米工业副产品饲喂育肥猪效果的研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2001.

[13] VAREL V H.Activity of fiber-degrading micro organisms in the pig large intestine[J].Journal of Animal Science,1987,65(2):488–496.

[14] 张秋华,杨在宾,杨维仁,等.饲粮粗纤维水平对育肥猪生产性能和胴体性能及肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(9):36–40.

[15] POND W G,YEN J T.Effect of level of alfalfa meal in a corn-soybean meal diet on growing-finishing swine[J].Nutrition Reports International,1984,(29):1191–1201.

[16] LOW A G.The role of dietary fiber in digestion,absorption and Metabolism[C]//Proceeding of the 3rd International Seminar on Digestive Physiology in the Pig.Copenhagen May,1985:157–179.

[17] KYRIAZAKIS I,EMMANS G C.The volunatary feed intake of pig given feed based on wheat bran,dried citrus pulp and grass meal,in relation to measurements of feed bull[J].British Journal of Nutrition,1995,73(2):191–207.

[18] NOBLET J,LE GOFF G.Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2001,90(1/2):35–52.

[19] ALMIRALL M,FRANCESCH M,PEREZ-VENDRELL A M,et al.The differences in intestinal viscosity produced by barley and beta-glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in brolier chick than in cocks[J].The Journal of Nutrition,1995,125(4):947–955.

[20] CHEN L,GAO L X,ZHANG H F.Effect of graded levels of fiber form alfalfa meal on nutrient digestibility and flow of fattening pigs[J].Journal of Integrative Agriculture,2014,13(8):1746–1752.

[21] 孟丽辉,庞敏,朱丽媛,等.日粮纤维来源对生长猪养分消化率的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1068–1075.

[22] 王诚,蔺海朝,王彦平,等.日粮纤维水平对猪营养物质表观消化率的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(4):23–29.

[23] WILFART A,MONTAGNE L,SIMMINS H,et al.Effect of fiber content in the diet on the retention time in different segments of digestive tract in growing pigs[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):27–29.

[24] LE GALL M,WARPECHOWSKI M,JAGUELIN-PEYRAUD Y,et al.Influence of dietary fibre level and pelleting on the digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows[J].Animal,2009,3(3):352–359.

[25] 孔祥峰,尹富贵,刘合军,等.早期断奶仔猪生理生化参数和脏器指数的变化[J].中国实验动物学报,2006,14(4):298–302.

[26] 孔祥峰,柏美娟,印遇龙,等.三元猪和宁乡猪血液学参数比较研究[J].农业现代化研究,2009,30(4):498–500,504.

[27] SHI Y H,WANG J,GUO R,et al.Effect of alfalfa saponin extract on growth performance and some antioxidant indices of weaned piglets[J].Livestock Science,2014,167:257–262.

[28] WANG Y Z,XU C L,AN Z H,et al.Effect of dietary bovine lactoferrin on performance and

antioxidant status of piglets[J].Animal Feed Science and Technology,2008,140(3/4):326–336.

[29] 李东东,李宗锐,丁雪梅,等.不同粗蛋白质水平饲粮添加外源蛋白酶对肉鸡生产性能、血清生化指标和抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2820–2831.

[30] 张艺.苜蓿叶蛋白抗氧化功能的实验研究[D].硕士学位论文.重庆:重庆医科大学,2005:55–60.

[31] 刘昊,还建亚,柳树青,等.日粮中铜水平对生长猪血清某些微量元素浓度及几种酶活性的影响[J].福建农学院学报,1992,21(2):198–203.

[32] MZHEL'SKAYA T I.Biological functions of ceruloplasmin and their deficiency caused by mutation in genes regulating copper and iron metabolism[J].Bulletin of Experimental Biology and Medicine,2000,30(8):719–727.

Effects of Diets with Different Proportions of Whole Plant Corn Silage on Growth Performance, Nutrient Utilization, Hematological Indexes and Serum Oxidative Stress Indexes of Growing Pigs

SUN Jing[1] YANG Zaibin[1] YANG Chen[1] WU Xiaojing[1] LI Simeng[1] YANG Weiren[1] XUE Feng[1] LI Huirong[2] LI Xiangming[2*] JIANG Shuzhen[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Key Laboratory of Animal Biological Engineering and Disease Control in Shandong Province, Tai'an* 271018, *China;* 2. *Shandong Provincial Feed Quality Inspection Station, Ji'nan* 250022, *China*)

Abstract: The aim of the present study was to investigate the effects of diets with different proportions of whole plant corn silage on growth performance, nutrient utilization, hematological indexes and serum oxidative stress indexes of growing pigs. A total of 32 growing pigs (Duroc×Landrace×Large White) with the similar parity and body weight [(33.16±3.49) kg] were allocated into 4 groups with 8 replicates per group, and pigs were fed individually in a metabolic cage for 42 days after 7 days adaptation. The control group was fed a basal diet, and the dietary nutrient level was according to reference of NY/T 65-2004 lean pig feeding standard. In the three test groups, the ratios of 20%, 30% and 40% whole plant corn silage was used to replace the basal diet, respectively. The crude fiber level was 3.0%, 3.5%, 4.0% and 4.5%, respectively. There was no significant difference in the contents of nutrients under dry matter basis among groups (P>0.05). The results showed that with the whole plant corn ratio increasing in the diet, the final

*Corresponding authors: LI Xiangming, professor, E-mail: lisdsjs@163.com; JIANG Shuzhen, associate professor, E-mail: shuzhen305@163.com (责任编辑 菅景颖)

body weight, average daily gain (ADG), apparent digestibility of nutrients (dry matter, organic matter, crude protein, ether extract and gross energy), biological value (BV) of protein, net protein utilization (NPU), gross energy metabolizable rate, hemoglobin concentration and serum ceruloplasmin (CER) content of growing pigs decreased linearly (*P*<0.05), but the average daily feed intake as fed basis (FB-ADFI), average daily feed intake as dry matter basis (DM-ADFI), average daily crude fiber intake (ADCFI) and feed to gain ratio as fed basis (FB-F/G) and feed gain ratio as dry matter basis (DM-F/G) increased linearly (*P*<0.05). Compared with the control group, no significant effects on the ADG, DM-ADFI, DM-F/G, BV of protein, NPU, hematological indexes and serum oxidative stress indexes of growing pigs of 20% and 30% whole plant corn silage groups were observed (*P*>0.05). However, the final body weight, ADG, nutrient apparent digestibility, hemoglobin concentration and serum CER content of 40% whole plant corn silage group were significantly decreased (*P*<0.05). It is concluded that the whole plant corn silage can be used for the preparation of low nutritional level diet for growing pigs, which can ensure the performance and improve health status when the feeding ratio is 20% to 30%.

Key words: whole plant corn silage; crude fiber; growing pigs; performance; nutrient digestion and metabolism; hematological indexes; serum oxidative stress indexes